

BAC

Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano

Editado por:

D. Lluch-Belda, J. Elourduy-Garay,
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.



CICIMAR



CONACYT

B A C

**Centros de Actividad Biológica
del Pacífico mexicano**

**D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay,
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz**

Editores



Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Diseño gráfico: Edgar Yuen Sánchez.

Cuidado de la edición: Edgar Yuen Sánchez, Daniel Lluch Belda, Juan F. Elorduy Garay, Salvador E. Lluch Cota y Germán Ponce Díaz.

Diseño de portada: Gerardo Rafael Hernández García.

Cuidado de la impresión: Margarito Rodríguez Alvarez, Santiago Rodríguez Alvarez y Rubén Andrade Velázquez.

Clasificación del Congreso de los E.E.U.U.

QH 541.5.S32B 2000

BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano / Editado por D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz.-- México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., 2000. ISBN 970-18-6285-6

1. Ecología marina. 2. Oceanografía biológica. 3. Productividad marina.

D.R. © 2000

Derechos reservados conforme a la ley

Primera edición

Impreso y hecho en México

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico o mecánico sin el consentimiento por escrito de los editores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por su apoyo para la edición e impresión del presente volumen.

Al personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas que participó en la realización de esta obra.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) quien proporcionó el apoyo financiero a través del Proyecto R29374B.

Al Instituto Interamericano para el Estudio del Cambio Global (IAI), a través de la US National Science Foundation (NSF) por su apoyo en la realización de los talleres de trabajo que dieron origen a esta iniciativa (Ref. ATM-9530224).

Al Ing. Edgar Yuen Sánchez (Subdirección de Informática del CIBNOR), por su intensa participación en el diseño gráfico y cuidado de la edición, sin la cual esta obra no se hubiese podido realizar.

Al Ing. Margarito Rodríguez Alvarez, Santiago Rodríguez Alvarez y Rubén Andrade Velázquez (Taller de Impresiones del CIBNOR), por el cuidado en la impresión. A Gerardo Hernández García (Diseño Gráfico del CIBNOR) por el diseño de la portada. Finalmente, a la Lic. Ana María Talamantes Cota (Biblioteca del CIBNOR) por la clasificación del libro.

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| <p>CAPÍTULO 1 CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA <i>Mario Martínez-García & Daniel Lluch-Belda</i></p> | 1 |
| <p>CAPÍTULO 2 MODELACIÓN DE FLUJOS DE BIOMASA EN CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA <i>Francisco Arreguín-Sánchez</i></p> | 13 |
| <p>CAPÍTULO 3 POSIBILIDADES PARA EL MONITOREO AMBIENTAL Y BIOLÓGICO EN BAC MEXICANOS COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y MITIGACIÓN DE FLORACIONES ALGALES NOCIVAS <i>Arturo P. Sierra-Beltrán</i></p> | 29 |
| <p>CAPÍTULO 4 CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA <i>Daniel Lluch-Belda</i></p> | 49 |
| <p>CAPÍTULO 5 EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, UNA PRIMERA APROXIMACIÓN <i>Martín E. Hernández-Rivas, Sylvia Patricia Jiménez-Rosenberg, René Funes-Rodríguez & Ricardo J. Saldierna-Martínez</i></p> | 65 |
| <p>CAPÍTULO 6 EXPLORACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS BAC EN ESPACIO Y TIEMPO: PUNTA EUGENIA Y EL SUR DE CALIFORNIA <i>Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina & María Verónica Morales-Zárate</i></p> | 87 |
| <p>CAPÍTULO 7 COMPARACIÓN ENTRE ZONAS DE ALTA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA: PUNTA EUGENIA Y PUNTA BAJA <i>María Verónica Morales-Zárate, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina & Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía</i></p> | 99 |
| <p>CAPÍTULO 8 ASPECTOS DE LA GEOQUÍMICA DEL MATERIAL ORGÁNICO EN EL BAC DEL GOLFO DE ULLOA, B.C.S. <i>Sergio Aguñiga</i></p> | 111 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO 9 | |
| COMPOSICIÓN Y DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL BAC DE BAHÍA MAGDALENA, B.C.S. | 125 |
| <i>Aída Martínez-López & Gerardo Verdugo-Díaz</i> | |
| CAPÍTULO 10 | |
| DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL SISTEMA LAGUNAR MAGDALENA- ALMEJAS | 143 |
| <i>Ismael Gárate-Lizárraga, David A. Siqueiros-Beltrones, Gerardo Verdugo-Díaz & Rafael Guerrero-Caballero</i> | |
| CAPÍTULO 11 | |
| FLORA FICOLÓGICA DEL BAC DE PUNTA EUGENIA | 157 |
| <i>Margarita Casas-Valdez</i> | |
| CAPÍTULO 12 | |
| VARIABILIDAD INTERANUAL DEL ZOOPLANCTON EN DOS CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL NOROESTE MEXICANO: RESPUESTA DE LA POBLACIÓN DE <i>Calanus pacificus</i> AL CAMBIO AMBIENTAL | 165 |
| <i>Sergio Hernández-Trujillo</i> | |
| CAPÍTULO 13 | |
| COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DEL ICTIOPLANCTON DEL GOLFO DE ULLOA, BAJA CALIFORNIA SUR, UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA | 185 |
| <i>René Funes-Rodríguez, Martín E. Hernández-Rivas, Ricardo J. Saldierna-Martínez, Alejandro T. Hinojosa-Medina, Raymundo Avendaño-Ibarra & Sylvia P. Adelheid Jiménez-Rosenberg</i> | |
| CAPÍTULO 14 | |
| BAC VERSUS ÁREAS ADYACENTES: UNA COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS A PARTIR DEL COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZCS) | 199 |
| <i>Daniel B. Lluch-Cota & Georgina Teniza-Guillén</i> | |
| CAPÍTULO 15 | |
| LAS POBLACIONES DE ALMEJA CATARINA <i>Argopecten ventricosus</i> EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO | 219 |
| <i>Alfonso N. Maeda-Martínez, María Teresa Sicard, Liliana Carvalho, Salvador E. Lluch-Cota & Daniel B. Lluch-Cota</i> | |
| CAPÍTULO 16 | |
| ANÁLISIS DE TRES VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN LA REGIÓN DE GUAYMAS, SONORA, MÉXICO | 229 |
| <i>Juana López-Martínez, Manuel O. Nevárez-Martínez, Armando Leyva-Contreras & Osvaldo Sánchez</i> | |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 17 | |
| SOBRE LA IMPORTANCIA DE CONSIDERAR LA EXISTENCIA DE CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA PARA LA REGIONALIZACIÓN DEL OCÉANO: EL CASO DEL GOLFO DE CALIFORNIA | 255 |
| <i>Salvador E. Lluch-Cota & Juan Pedro Arias-Aréchiga</i> | |
| CAPÍTULO 18 | |
| VARIACIONES DE LOS VOLÚMENES ZOOPLANCTÓNICOS EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA | 265 |
| <i>Alfonso Esquivel-Herrera, Gabriela Ma. Esqueda-Escárcega & Sergio Hernández-Trujillo</i> | |
| CAPÍTULO 19 | |
| COMUNIDADES DE SIFONÓFOROS (CNIDARIA) EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA | 277 |
| <i>Alfonso Esquivel-Herrera</i> | |
| CAPÍTULO 20 | |
| LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE ALTAMAR EN SONORA | 301 |
| <i>Juana López-Martínez, Enrique Morales-Bojorques, Fausto Paredes-Mallon, Daniel Lluch-Belda & Celio Cervantes-Valle</i> | |
| CAPÍTULO 21 | |
| LA PESQUERÍA DE CALAMAR GIGANTE EN BAJA CALIFORNIA SUR: INTERACCIÓN ENTRE FLUCTUACIONES DEL RECURSO, INDUSTRIA PROCESADORA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD | 313 |
| <i>Saúl Sánchez-Hernández, Germán Ponce-Díaz & Sergio Hernández-Vázquez</i> | |
| CAPÍTULO 22 | |
| EL GOLFO DE TEHUANTEPEC COMO UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y SU IMPORTANCIA EN LAS PESQUERÍAS | 335 |
| <i>Sofía Ortega-García, José Angel Trigueros-Salmerón, Rubén Rodríguez-Sánchez, Salvador Lluch-Cota & Héctor Villalobos</i> | |
| RECAPITULACIÓN | 357 |
| <i>Daniel Lluch-Belda, Juan F. Elorduy-Garay, Salvador E. Lluch-Cota & Germán Ponce-Díaz</i> | |

PRÓLOGO

Prof. W.S. Wooster

School of Marine Affairs, University of Washington

The studies compiled in this volume concern a concept that arose out of international discussions in La Paz, B.C.S., Mexico, concerning variations in the abundance and distribution of small pelagic fishes and their possible relation to changes in the physical environment. Of particular interest were species of sardine and anchovy that are common to eastern boundary currents, such as those of California and Mexico, Peru, and southwest Africa, where they are nourished by the high productivity associated with the upwelling of plant nutrients.

Even in these generally productive regions, there are smaller areas where biological activity is particularly high. These areas appear to be fixed in space, tied to coastal features, and tend to show little seasonal variation in their level of productivity. They are often the locus of spawning of small pelagics and other species and of fisheries related to the aggregations of commercial species. They have been dubbed "Biological Action Centers" or BAC.

Because of their characteristics, BAC are likely to be good places to study interactions between ecosystem and climate variations and to examine the mechanisms of such interactions. It has also been proposed that they offer an opportunity to optimize monitoring of ecosystem changes, analogous to checking blood pressure and pulse as indices of human health.

The possibility of improving the efficiency of living marine resource monitoring by concentrating observations in these small areas of high biological activity was attractive to the Living Marine Resource Panel of the Global Ocean Observing System, an international program being developed by the Intergovernmental Oceanographic Commission and other international agencies. That Panel proposed a pilot study to investigate BAC and their ecosystem role, to identify existing BAC, to determine the extent to which observations in BAC could be extrapolated to surrounding areas, and to investigate the extent to which BAC provide an indication of climate change.

Under the sponsorship of Instituto Interamericano para la Investigacion del Cambio Global (IAI), several workshops were organized to explore these ideas. The papers in the present volume resulted from the first Mexican workshop on the subject. They cover a wide variety of topics based on observations in the BAC off the west coast of Mexico and in the Gulf of California and provide support for the concepts and useful suggestions for further research arising from present knowledge of the areas.

The importance of this collection of papers goes well beyond its regional focus. Not only should the approach of using indicator locations contribute to the development of efficient global monitoring of living marine resources, but it should also lead to improved understanding of interactions between climate and ecosystem variations elsewhere in the world ocean.

Los estudios compilados en este volumen tocan un concepto que nació de las discusiones a nivel internacional realizadas en La Paz, B.C.S., México, concernientes a las variaciones en la abundancia y distribución de peces pelágicos menores y su posible relación con los cambios en el ambiente físico. Fueron de interés particular las especies de sardina y anchoveta comunes a las corrientes con frontera al este, tales como las de California y México, Perú y Suroeste de África, donde son alimentadas por la gran productividad asociada con las surgencias de nutrientes de plantas.

Incluso en estas regiones generalmente productivas, existen áreas menores donde la actividad biológica es particularmente elevada. Estas áreas parecen estar fijas en el espacio, ligadas a características de la costa, y tienden a mostrar poca variación estacional en su nivel de productividad. A menudo son el lugar de desove de pelágicos menores y otras especies y de pesquerías relacionadas con las agregaciones de especies comerciales. Han sido denominadas "Centros de Actividad Biológica" o BAC (por sus siglas en inglés).

Debido a sus características, es probable que los BAC sean buenos lugares para el estudio de las interacciones entre el ecosistema y las variaciones climáticas y para examinar los mecanismos de tales interacciones. También se ha propuesto que ofrecen la oportunidad de optimizar el monitoreo de los cambios del ecosistema, de forma análoga a como se verifican la presión sanguínea y el pulso en cuanto a la salud humana.

La posibilidad de mejorar la eficiencia del monitoreo de recursos marinos vivos concentrando las observaciones en estas pequeñas áreas de elevada actividad biológica fue atractiva para el Panel de Recursos Marinos Vivos del Sistema de Observación Global de los Océanos (LMR-GOOS), un programa internacional que está siendo desarrollado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC) y otras agencias internacionales. Dicho Panel propuso un estudio piloto para investigar los BAC y el papel de sus ecosistemas, para identificar los BAC existentes, para determinar en qué grado las observaciones en los BAC podrían ser extrapoladas a las áreas circundantes, y para investigar en qué grado los BAC proporcionan una indicación del cambio climático.

Se organizaron varias reuniones de trabajo, con el patrocinio del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), para explorar estas ideas. Los artículos del presente volumen son el resultado de la primera reunión mexicana sobre el tema. Cubren una amplia variedad de tópicos basados en observaciones en los BAC de la costa oeste de México y en el Golfo de California, y proporcionan bases para los conceptos y sugerencias útiles para investigaciones futuras que nazcan del conocimiento actual de tales áreas.

La importancia de esta colección de artículos va mucho más allá de su enfoque regional. No sólo la aproximación de utilizar localidades indicadoras contribuirá al desarrollo de monitoreos globales de los recursos marinos vivos eficientes, sino también deberá conducir a una mejor comprensión de las interacciones entre el clima y las variaciones del ecosistema en cualquier otro lugar del océano mundial.

22

EL GOLFO DE TEHUANTEPEC COMO UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y SU IMPORTANCIA EN LAS PESQUERÍAS

Sofía Ortega-García^{1,3}, José Angel Trigueros-Salmerón^{1,4}, Rubén Rodríguez-Sánchez^{1,3}, Salvador Lluch-Cota² & Héctor Villalobos¹

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Av. Instituto Politécnico Nacional s/n. Col. Playa Palo de Santa Rita. Apdo. Postal 592. La Paz, B.C.S. 23000. E-mail: sortega@redipn.ipn.mx ²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. ³Becario COFAA. ⁴Becario PIFI

RESUMEN

El Golfo de Tehuantepec es considerado como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Tropical Oriental con altos niveles de productividad primaria, derivado del desarrollo invernal de surgencias costeras y fuerte mezcla vertical por viento perpendicular a la costa, proceso que provee nutrientes a la capa superficial. En esta contribución se presenta una caracterización ambiental general (patrones de circulación predominantes a lo largo del año promedio, la configuración batimétrica y estructura termohalina), una descripción de los procesos que generan la producción biológica primaria y controlan su variabilidad, y se mencionan los principales recursos pesqueros de la zona, haciendo énfasis en su importancia relativa. Se concluye que, a pesar de que los niveles de producción biológica a lo largo del año son menores en el Golfo de Tehuantepec respecto de otros Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano, éste representa uno de los pocos focos de enriquecimiento del Pacífico Costero Centroamericano, y en consecuencia un sistema clave dentro de la estructura ecológica de este gran ecosistema marino. Finalmente, se reconoce que existe una fuerte necesidad de incrementar los estudios enfocados a la caracterización del BAC del Golfo de Tehuantepec.

Palabras clave: Surgencias, Golfo de Tehuantepec, Pesquerías.

ABSTRACT

The Gulf of Tehuantepec is considered as one of the three Central American areas of the Western Tropical Pacific with high levels of primary productivity. This is derived from the development of winter coastal upwelling and strong

vertical mixing by wind perpendicular to the coast, a process that provides nutrients to the surface layer. In this contribution a general environmental characterization is presented (predominant circulation patterns along an average year, bathymetric configuration, and thermohaline structure), a description of the processes generating the primary biological production and controlling its variability, and the main fishing resources are mentioned with emphasis in their relative importance. It is concluded that, in spite of the year round lower levels of biological primary production in the Gulf of Tehuantepec as compared to other Biological Activity Centers, this represents one of the few spots of enrichment of the Central America Coastal Pacific. Therefore, it is a key system within the ecological structure of this large marine ecosystem. Finally, it is recognized that there is a strong need of increasing the studies focused on the characterization of the Gulf of Tehuantepec BAC.

Key words: Upwelling, Gulf of Tehuantepec, Fisheries.

INTRODUCCIÓN

El Golfo de Tehuantepec es una región de aproximadamente 125,000 km² delimitada al sur por los 12°N, al norte por la costa mexicana, entre Puerto Angel, Oaxaca y Puerto Madero, Chiapas, al este por el meridiano de los 92°W y al oeste por el meridiano 97°W y su radio es de aproximadamente 200 km (Gallegos-García & Barberán-Falcón, 1998).

Se considera como una de las tres zonas centroamericanas del Pacífico Tropical Oriental con altos niveles de productividad primaria, debido a condiciones orográficas que permiten la acción pronunciada de vientos invernales intensos producidos por el gradiente de presión atmosférica que se establece entre la zona del Golfo de México y Centroamérica, (Clarke, 1988; Legeckis, 1988; McCreary *et al.*, 1989) y que generan importantes procesos de surgencia y mezcla vertical (Roden, 1961; Stumpf, 1975).

La topografía del continente que favorece la ocurrencia de estos vientos (localmente llamados “Tehuano” o “Tehuantepequeros”) está determinada por la Sierra Madre del Sur, que se extiende a lo largo del sur de México y parte de América Central con elevaciones típicas de 2000 m. En el Istmo de Tehuantepec la cadena montañosa es interrumpida por un paso de 40 km de ancho y de altura promedio de 200 m conocido como “Paso Chivela”. Cada invierno, las heladas intensas que ocurren sobre las planicies de Norteamérica producen sistemas de alta presión atmosférica que avanzan hacia el sur, sobre el Golfo de México. Cuando estos sistemas alcanzan la latitud del Istmo de Tehuantepec, y dado que la presión sobre el Pacífico no es afectada, se establece una diferencia de presión a través del Paso Chivela. Es entonces que se canaliza un chorro intenso de viento frío y seco, que cruza hacia el Pacífico y se esparce sobre el Golfo de Tehuantepec con velocidades de hasta 27 km/hora (Lavín *et al.*, 1992; Barton *et al.*, 1993; Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

El tiempo de respuesta de las surgencias al viento es de 36 hrs. y su área de

influencia es de aproximadamente 500 km². Las surgencias en el Golfo están relacionadas con el rotacional del esfuerzo del viento (Roden, 1961).

Además de las surgencias, se desarrolla un giro anticiclónico y un hundimiento de la picnoclina en el lado oeste, el giro es formado por la advección de agua superficial cálida del oeste del golfo, y la mayoría del agua incorporada a los giros viene del oeste, de fuera del golfo (Trasviña *et al.*, 1995). Al hundirse la termoclina hasta los 100 m de profundidad, se desarrolla un intenso frente horizontal al oeste del eje del viento, produciendo una pendiente de las isotermas (Barton *et al.*, 1993). Mientras que en la parte occidental del golfo se produce una convergencia de Ekman y la mezcla vertical se extiende a un máximo de 120 m de profundidad, en el lado opuesto se forma una divergencia la cual restringe la formación de una capa superficial bien desarrollada resultando por lo tanto en una capa más somera. Así, los nortes inducen la formación de frentes oceánicos en la parte suroeste del golfo y la formación de surgencias en la parte sureste.

Entre el giro y el agua de surgencia se presenta un gradiente térmico de 0.4°C/km formando frecuentemente, un frente oceánico que coincide con la posición de la cordillera submarina de Tehuantepec por lo que aparentemente la localización del frente no solamente depende de la posición de la incursión de la Corriente de California sino que la batimetría controla los límites de la surgencia (Stumpf, 1975; Stumpf & Legeckis, 1977).

Aunque durante los nortes se desarrollan giros anticiclónicos y ciclónicos estos últimos no se manifiestan frecuentemente debido a que mientras que los anticiclónicos se intensifican por la advección, los ciclónicos son virtualmente eliminados por la mezcla vertical (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

La duración de los nortes es de 3 a 5 días y se presentan en intervalos de 10 a 15 días con vientos sostenidos de por lo menos 8 m/s (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998; Gallegos-García y Barberán-Falcón, 1998). DiMego *et al.* (1976) han encontrado que la actividad frontal en el Golfo de México y en el Golfo de Tehuantepec alcanza un máximo durante el invierno y un mínimo en el verano. La primavera y el otoño son periodos de transición de máximo a mínimo y de mínimo a máximo respectivamente en la frecuencia de los frentes fríos (McCreary *et al.*, 1989).

Durante la época de mayo a octubre, cuando ocurren las lluvias, se presentan vientos poco intensos. Esto significa que durante el verano los vientos que soplan de dirección este son generalmente débiles, ocasionalmente se observan vientos intensos durante el paso de los huracanes y tormentas tropicales los cuales generan pulsos de viento que se propagan a lo largo de la costa (Trasviña & Barton, 1997). En esta época la región se ve afectada por la proximidad de la zona de convergencia intertropical cuyo efecto es la estabilización en los movimientos verticales de las aguas, ocasionando baja productividad (Ritter-Ortiz & Guzmán-Ruíz, 1984).

Circulación

El patrón de circulación en el Pacífico Oriental Tropical está influenciado por los desplazamientos latitudinales del sistema de vientos alisios y de la zona de convergencia intertropical (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

El Golfo de Tehuantepec se encuentra bajo la influencia de importantes corrientes: la Corriente Norecuatorial (CNE), la Contracorriente Ecuatorial (CCE), la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y en condiciones invernales extremas la Corriente de California (CC) (Fig. 1)(Wyrтки, 1967).

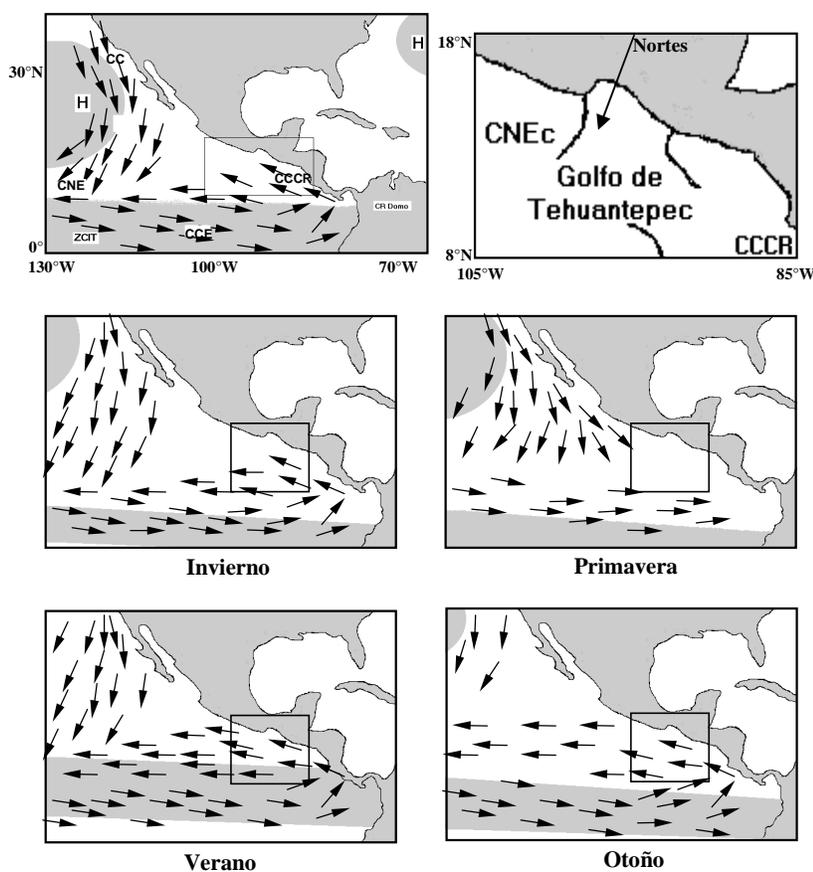


Figura 1. Panel superior izquierdo: Características atmosféricas y oceanográficas del Pacífico Tropical Oriental. Panel superior derecho: Área de estudio (Pacífico Tropical Mexicano). Paneles inferiores: Variación estacional de la distribución de celdas de presión y corrientes superficiales en el Pacífico Tropical Oriental.

Tomada de Lluch-Cota (1995).

En invierno y primavera, cuando los vientos alisios del este son muy intensos y la zona de convergencia intertropical está en su posición más sureña, la Corriente Costera de Costa Rica se desvía hacia el oeste, esta desviación es sustentada por un flujo hacia el mar, producto de los Tehuanos. La Corriente de California llega al sur de los 15°N donde, además de alimentar a la Corriente Norecuatorial, entra al Golfo de Tehuantepec en las capas subsuperficiales. La incursión de esta agua es sólo en la parte oeste del golfo aproximadamente a 95°W donde se encuentra con agua producto de surgencia y forma un frente oceánico (Molina-Cruz & Martínez-López, 1994).

En verano y otoño, cuando la velocidad máxima de los vientos alisios del noreste se encuentra a los 18°N, y la zona de convergencia intertropical se localiza en su posición más al norte, la contracorriente llega aproximadamente a los 90°W definiendo el domo de Costa Rica y alimentando la Corriente del mismo nombre, la cual fluye hacia el noroeste a lo largo de la costa y entra al Golfo de Tehuantepec. Durante este periodo la Corriente de California no influye en esta área debido a que se desvía hacia el oeste en las proximidades de la punta de la Península de Baja California (Blackburn, 1962; Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

A escala menor, la circulación en el golfo presenta cuatro patrones característicos a lo largo del año (Fig. 2); durante la temporada de nortes se tienen dos patrones muy similares entre sí, el primero de octubre a enero que muestra dos corrientes paralelas a la costa y en sentido contrario, las cuales se encuentran a la altura de Salina Cruz. La rapidez de la corriente en la parte alta del golfo es inferior a la de la región sur. Una vez que dichas corrientes convergen siguen una trayectoria hacia mar adentro con dirección hacia el suroeste (Fig. 2c); el segundo patrón se presenta de febrero a abril, a finales de la época de nortes. La diferencia estriba en que en este último la contribución noroeste se vuelve más importante que la del norte y una vez que las corrientes convergen se forman dos celdas, desarrollándose un dipolo; un giro anticiclónico en la porción oeste de aproximadamente 200 km de diámetro y uno ciclónico en la parte oriental del golfo (Fig. 2d)(Trasviña *et al.*, 1995; Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

En el periodo de junio a agosto, época de lluvias y de huracanes, se presenta el tercer patrón de circulación, el cual es muy sencillo pues la corriente va hacia el noroeste (Fig. 2b). En los meses de mayo y septiembre, meses de transición de secas a lluvias y de lluvias a secas respectivamente, la corriente presenta una línea sinuosa con flujo de este a oeste, va hacia el norte con velocidades menores a 20 cm/seg, más bajas que las correspondientes al periodo de junio a agosto (Fig. 2e) (Monreal-Gómez & Salas de León, 1998).

Durante diciembre se presenta el cuarto patrón de corrientes y consiste en una circulación costera hacia el este y otra hacia el oeste las cuales convergen en la parte oeste del golfo donde cambian su trayectoria siguiendo hacia mar adentro hasta aproximadamente 200 km de la costa donde la corriente cambia de dirección hacia el oeste (Fig. 2a).

Geográficamente y de manera general, el Golfo de Tehuantepec se caracteriza

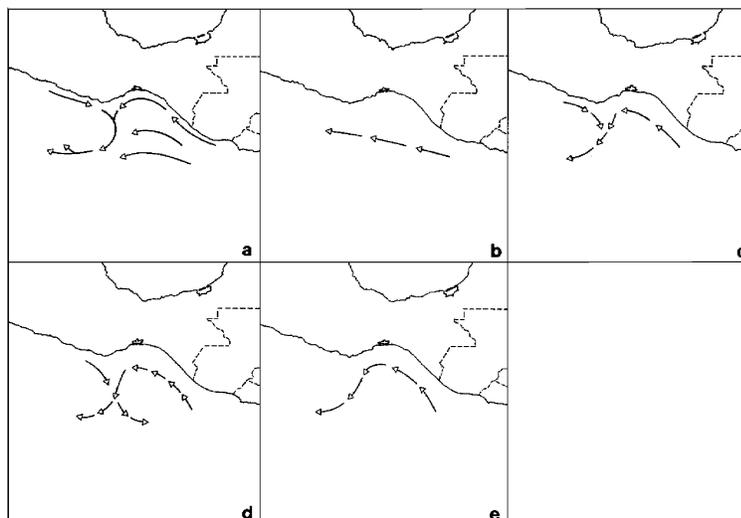


Figura 2. Corrientes superficiales en el Golfo de Tehuantepec a) época de nortes de acuerdo con Roden (1961), b) de junio a agosto c) de octubre a enero d) de febrero a abril e) en mayo y septiembre, según Blackburn (1962).

→ → →

menores a 20 cm/s

→ → →

mayores a 20 cm/s

Tomado de Monreal-Gómez y Salas de León (1998).

por tener tres regímenes hidrográficos, el primero corresponde al giro anticiclónico en el oeste del golfo, el segundo está afectado directamente por los nortes y es donde ocurren las surgencias y el tercero o régimen del este es menos afectado por los nortes, esta región presenta una superficie termohalina característica de las aguas del Océano Pacífico Tropical del Este, menos salina y más cálida (Lavín *et al.*, 1992; Robles-Jarero & Lara-Lara, 1993).

Batimetría

El Golfo de Tehuantepec está situado en una región estructuralmente compleja, dado que se ubica cerca de una triple unión: la Placa de Norteamérica, la de Cocos y la del Caribe (Carranza-Edwards *et al.*, 1998). Su plataforma continental tiene un ancho promedio de 100 km. en la mitad oriental del golfo y desaparece en el lado occidental.

Como se puede observar en la Figura 3, la plataforma y la costa occidental del golfo bordean la trinchera Mesoamericana, de más de 5000 m de profundidad, considerada como la más profunda del Pacífico Tropical Oriental. Una gran parte del golfo se encuentra en aguas con profundidades de 4000 m o mayores (Trasviña & Barton, 1997).

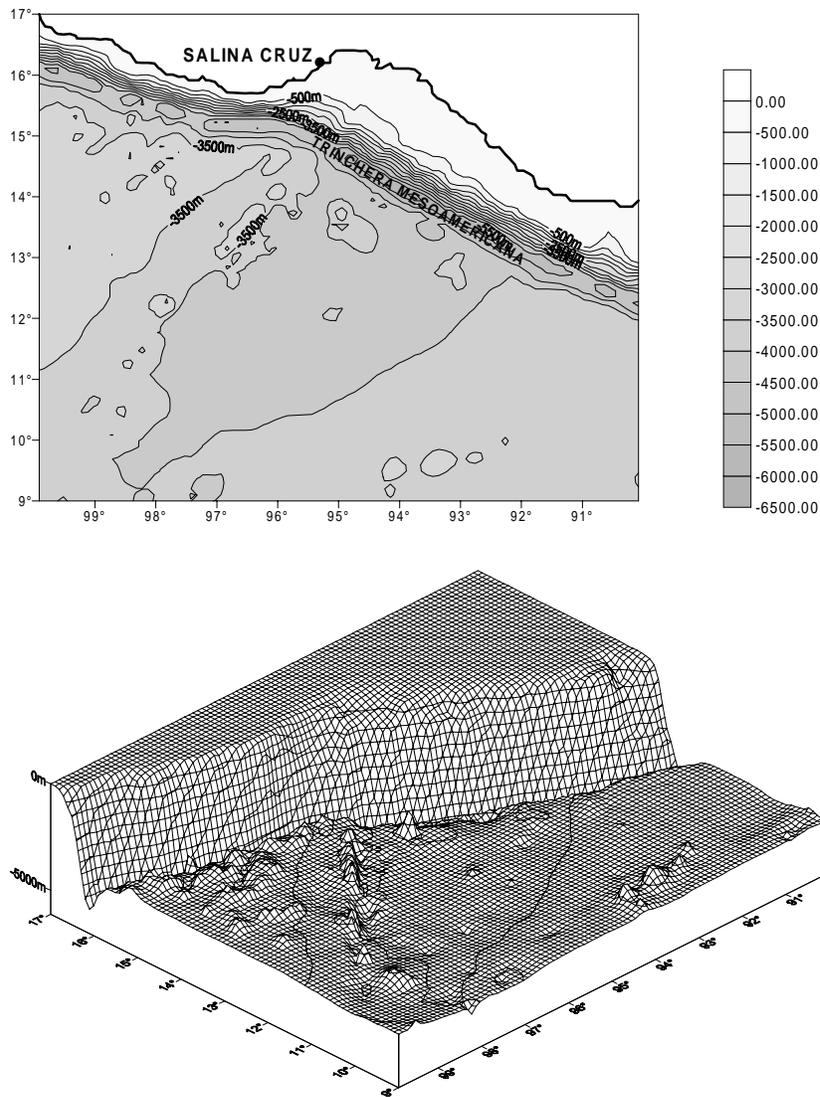


Figura 3. Batimetría del Golfo de Tehuantepec.

Desde el punto de vista geológico, las costas de Oaxaca y Chiapas se pueden dividir en dos regiones, una que comprende la mayor parte del Golfo de Tehuantepec (desde Salinas del Marqués, Oaxaca al Río Suchiate, Chiapas) que se caracteriza por una plataforma amplia de fondos blandos y otra de escasa plataforma continental de litoral rocoso que comprende la parte oeste de la costa de Oaxaca a partir de Salinas del Marqués hasta los límites con el estado de Guerrero (Tapia-García & Gutiérrez-Díaz, 1998).

Estructura térmica

A excepción de la época de surgencias, el Golfo de Tehuantepec se caracteriza por tener una capa de mezcla muy somera, aproximadamente entre los 10 a 30 m de profundidad, lo que implica que la termoclina permanente es muy somera, de tal forma el agua que es arrastrada por los vientos durante la influencia de los nortes se suple necesariamente con agua subsuperficial y agua superficial lateral. (Gallegos-García & Barberán-Falcón, 1998).

La Figura 4a muestra la profundidad de la capa de mezcla promedio mensual durante el periodo 1984-1990 donde se puede apreciar que los meses cuya capa de mezcla es mas somera son octubre, noviembre, marzo y abril.

La profundidad de la isoterma de los 20°C se usa convencionalmente para representar la profundidad de la termoclina en el Pacífico Tropical (Donguy y Meyers, 1987; Kessler, 1990). En la Figura 4b se presenta el promedio mensual para el periodo 1984-1990, donde se puede observar que estas son ligeramente más someras durante, octubre, noviembre, marzo y abril, coincidiendo con el inicio y terminación de las surgencias.

Para el mismo periodo (1984-1990), el perfil térmico estacional promedio para el Golfo de Tehuantepec se presenta en la Figura 5, en la cual se puede apreciar que en el verano y otoño se presentan las temperaturas más altas. Ortega-García (1998) reporta que para esta zona el perfil térmico promedio en los primeros 20 m de profundidad es el más cálido del Pacífico Oriental Tropical.

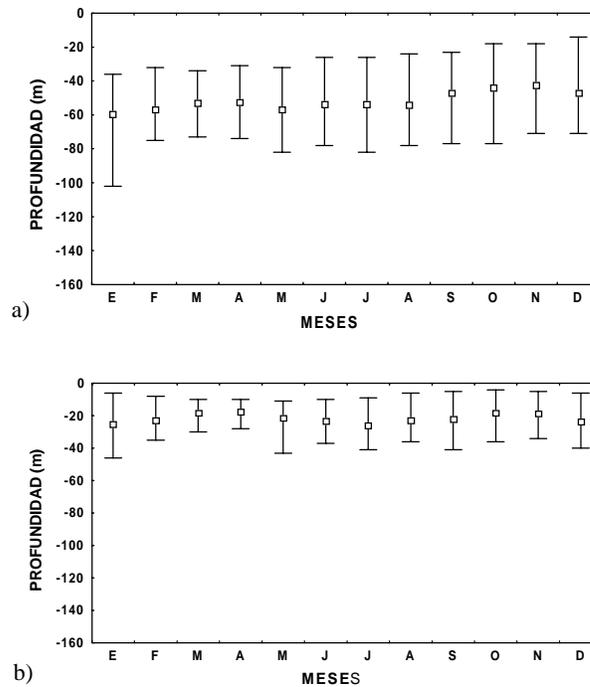


Figura 4. Profundidad promedio mensual para el periodo de 1984-1990 de a) capa de mezcla y b) isoterma de los 20°C en el Golfo de Tehuantepec.

Una de las características de la distribución de la temperatura superficial es que las temperaturas más bajas no se observan en la parte norte del golfo (Roden, 1961). Esto se aprecia claramente en la distribución de las isotermas durante el mes de diciembre promedio, representativo del periodo 1946-1989 (Fig. 6), lo cual se ha explicado por la ocurrencia de las corrientes a lo largo de la costa, que convergen frente a Salina Cruz.

Aunque en varios estudios se ha considerado que el enfriamiento superficial se debe a las surgencias producidas por el viento (Strong *et al.*, 1972; Stumpf, 1975; Stumpf & Legeckis, 1977), investigaciones recientes han mostrado que es debido a procesos de mezcla turbulenta vertical bajo el eje del viento, que aunque también influyen en el enfriamiento moderado en la región oriental del golfo, sólo alcanzan a mezclar la termoclina superior al mismo tiempo que ésta es elevada por la surgencia, de manera que ambos procesos contribuyen al enfriamiento superficial (Trasviña *et al.*, 1995; Trasviña & Barton, 1997).

Para el periodo 1946-1989, la Figura 6 muestra que de noviembre a marzo la temperatura superficial es aproximadamente 6°C menor que la de las aguas adyacentes. Robles-Jarero & Lara-Lara (1993) han reportado anomalías hasta de 10°C.

Enfield & Allen (1983), mencionan que las tormentas tropicales que se presentan en el área desestabilizan los procesos oceanográficos característicos del Golfo de Tehuantepec. Asocian su trayectoria y origen directamente con las características térmicas del golfo, ya que la mayoría de ellas tienen su origen en el área próxima.

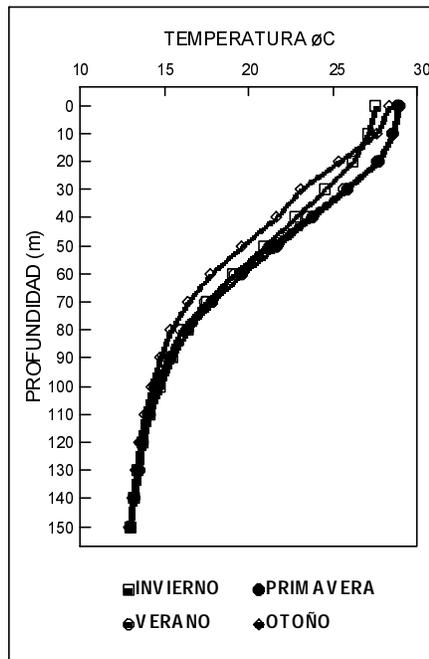


Figura 5. Perfil térmico promedio para el periodo 1984-1990 en el Golfo de Tehuantepec.

El fenómeno El Niño también afecta la dinámica del Golfo de Tehuantepec, ya que cuando se presenta se manifiesta un debilitamiento de los procesos de surgencia, teniendo como consecuencia un cambio en la estructura térmica del mismo (Lluch-Cota *et al.*, 1997).

Productividad

La alta productividad del golfo se debe principalmente a los procesos de surgencia y de mezcla vertical; las aguas subsuperficiales traen consigo fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos en altas concentraciones, iniciándose una red trófica que a su vez produce y nutre a una rica comunidad biológica. Robles-Jarero & Lara-Lara (1993), en un estudio realizado en el invierno, dividieron el golfo en tres áreas reportando que la parte central presentó los valores promedio más altos de micronutrientes (1.2 μ para fosfatos y 10.2 μ para silicatos), seguida por la zona este (1.1 μ para fosfatos y 9.2 μ para silicatos). Los valores más bajos se presentaron en la zona oeste (0.8 μ para fosfatos y 6 μ para silicatos). Respecto a la concentración de pigmentos fotosintéticos, estos autores reportan los valores máximos de clorofila "a" superficial en la región oeste del golfo con una mayor contribución de microfitoplancton, en la región central y oriental el nanofitoplancton tuvo la mayor contribución de la clorofila total. Los valores del contenido de clorofila "a" integrada a través de la zona eufótica fueron similares tanto en la región central como en la oriental, con 41.1 y 35 mg/m^2 respectivamente, en tanto que la región occidental presentó la más alta concentración con 90.3 mg/m^2 .

No obstante, las concentraciones de clorofila no son elevadas, sí se comparan con valores típicos de regiones de surgencia costera. Se han registrado concentraciones altas de zooplancton tanto en la parte occidental del golfo, dentro del giro cálido en la parte oriental, como en la periferia del mismo (Farber-Lorda *et al.*, 1994; Trasviña & Barton, 1997). En opinión de Trasviña & Barton (1997), los procesos de mezcla lateral entre la región central del golfo comparativamente rico en clorofilas y el interior del giro cálido, podrían explicar la ocurrencia de concentraciones altas de zooplancton en el interior de éste, lo cual le da características únicas: alta productividad y temperaturas moderadas.

En la variación mensual de la concentración de pigmentos fotosintéticos inferida a través de imágenes de satélite del sensor del SeaWiFS para 1999 (Fig. 7), se puede observar que una productividad alta se presenta principalmente en la zona del Golfo de Tehuantepec de octubre a abril, siendo máxima durante diciembre con valores mayores de 1.5 mg Cl/m^3 . No obstante que la productividad disminuye durante el verano, en el sureste del golfo la productividad está presente casi durante todo del año ya que se encuentra bajo la influencia de la Corriente Costera de Costa Rica y de la productividad generada en el Golfo de Papagayo durante el verano e invierno respectivamente. La concentración pigmentaria también puede observarse a lo largo de la costa durante casi todo el año siendo máxima durante el verano y mínima en el invierno, esto está relacionado al hecho de que de mayo a octubre es la época de lluvias, por lo que el aporte de nutrimentos provenientes del lavado de lagunas

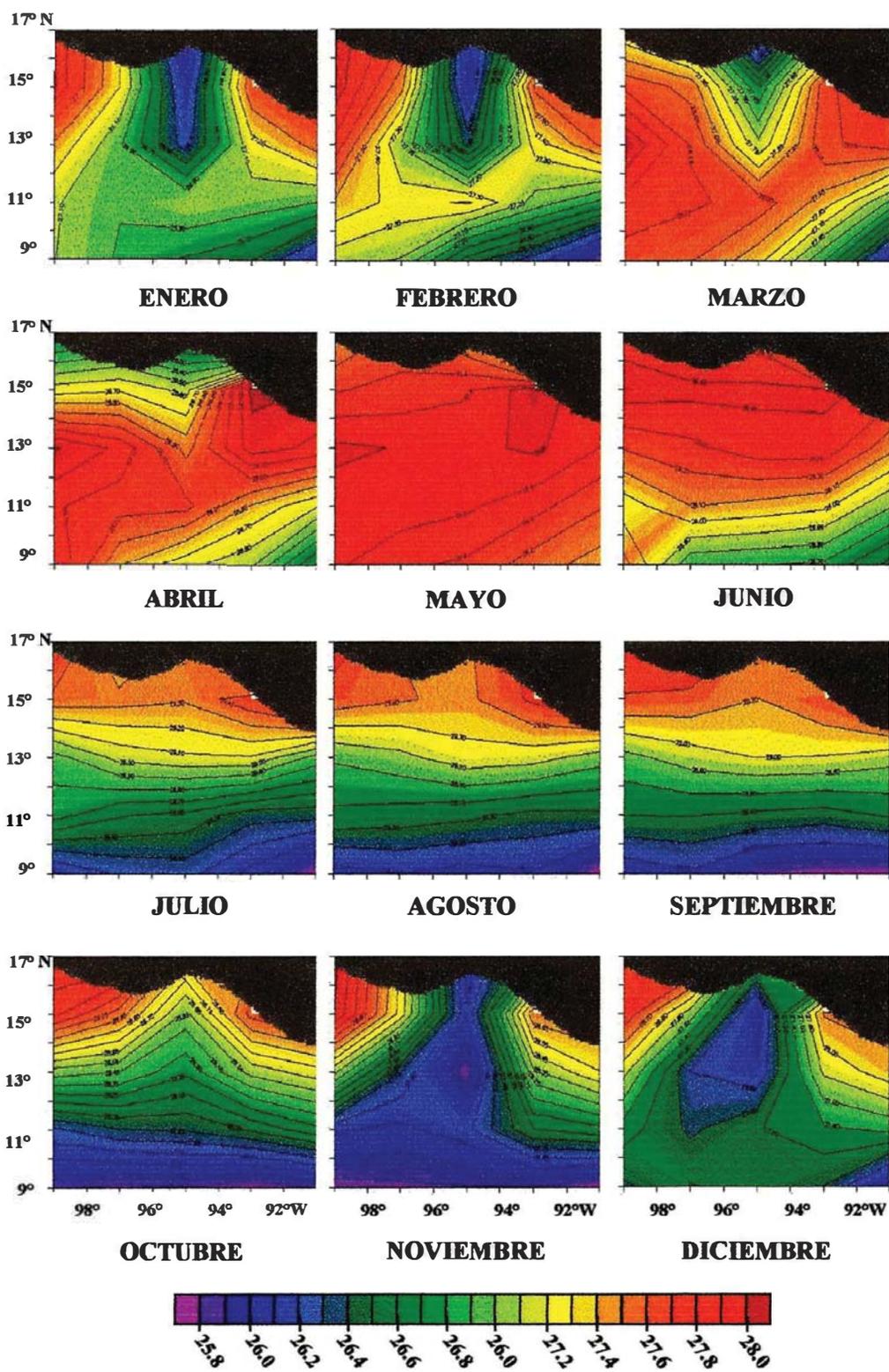


Figura 6. Temperatura superficial promedio mensual (°C) en el Golfo de Tehuantepec durante el periodo 1946-1989.

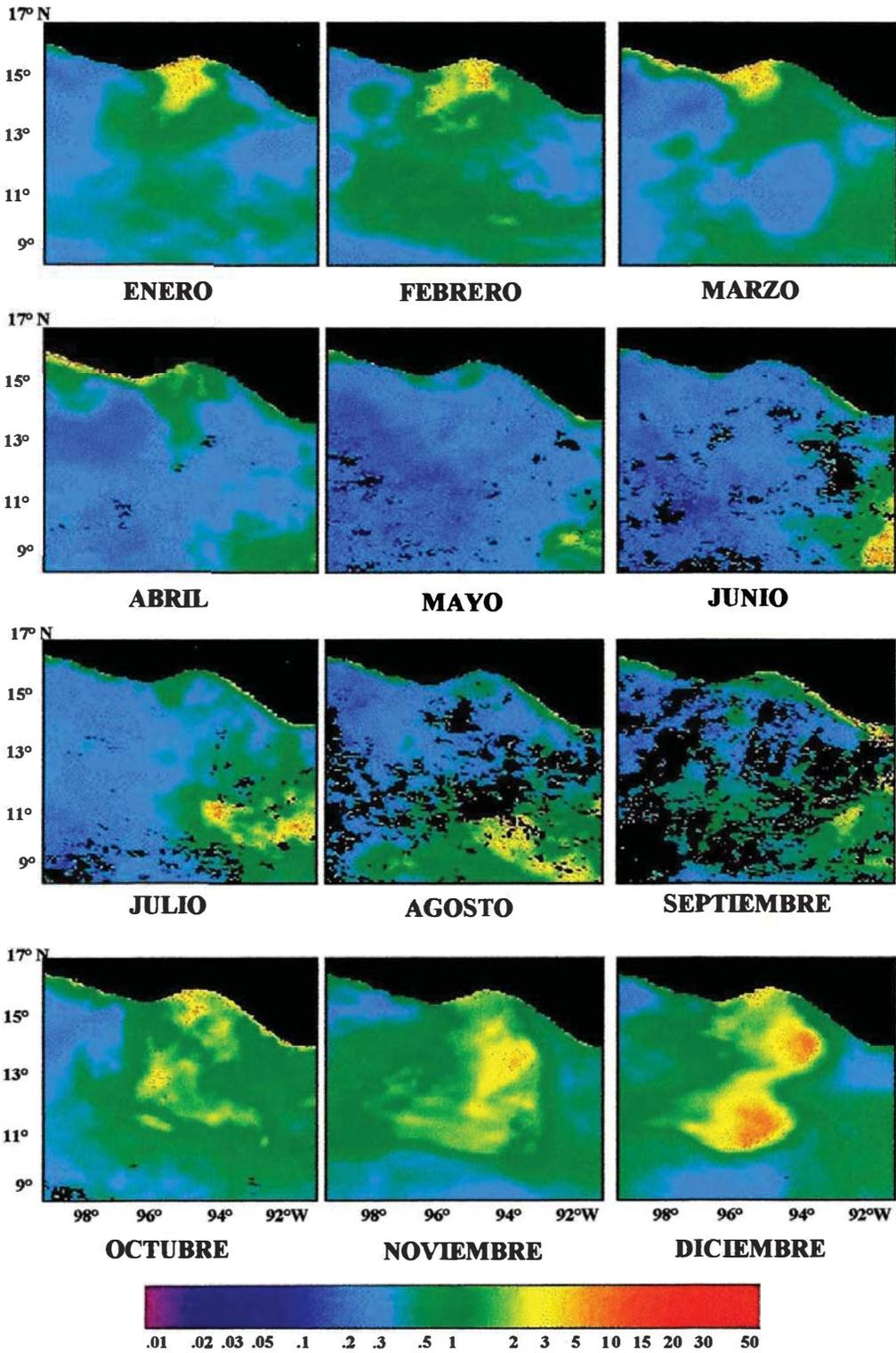


Figura 7. Concentración de pigmentos fotosintéticos promedio mensual (clorofila *a* en mg/m³), inferida a través de imágenes de satélite del sensor del SeaWiFS durante 1999.

y de los ríos Suchiate, Novillero y Tehuantepec que drenan en esas porciones del golfo se traducen en una alta producción biológica (Vázquez-Gutiérrez & Alexander-Valdés, 1993).

El patrón de concentración pigmentaria es similar al encontrado por Lluch-Cota *et al.*, (1997), con imágenes provenientes del Coastal Zone Color Scanner, quienes al estratificar el área de acuerdo a sus valores de concentración de pigmentos fotosintéticos determinan cuatro regiones: a) la zona costera con niveles de concentración altos, b) la zona oceánica con niveles bajos, c) el Golfo de Tehuantepec con niveles medios de concentración y con máximos de noviembre a febrero y d) la zona sureste con niveles medios de concentración, comparables a los del golfo. Los valores máximos de concentración de pigmentos fotosintéticos durante invierno también han sido reportados por Fiedler (1994) y Ortega-García & Lluch-Cota (1996).

Importancia pesquera

Las características fisiográficas y batimétricas del área, en combinación con la estacionalidad de procesos atmosféricos-oceanográficos discutidos anteriormente, hacen que el Golfo de Tehuantepec mantenga una alta productividad prácticamente a lo largo del año que favorece la acumulación y mantenimiento de una biomasa elevada en un área geográficamente delimitada. Lo que suponemos favorece el desove, la crianza o la alimentación de diferentes especies, algunas de ellas de importancia comercial tales como el camarón, atún y sardina, entre otros.

Ayala-Duval *et al.*, (1998) sobre la base del análisis de muestras de cruceros realizados en enero, mayo y noviembre, encontraron que la densidad de la biomasa zooplanctónica presenta valores intermedios en enero, los más altos en mayo y los menores en noviembre. Se registran núcleos de alta densidad tanto de biomasa zooplanctónica como larvaria en la porción occidental del golfo durante enero, en la porción oriental en mayo y dispersos en el golfo durante noviembre. Destaca la presencia de larvas de la familia clupeidae y engraulidae, las cuales presentaron los mayores valores de densidad durante noviembre.

La variación mensual de la abundancia relativa (captura por unidad de esfuerzo) de la sardina crinuda *Opisthonema spp.* dentro de un año promedio, representativo de la captura de especies de carnada por barcos atuneros en esta zona durante el periodo 1931-1979, se presenta en la Figura 8, observándose una marcada estacionalidad de la sardina crinuda durante el primer trimestre del año.

Una característica importante de la carnada capturada es la predominancia de juveniles (Howard, 1952; Wood & Strachan, 1970; Maxwell, 1974; Baldwin, 1977). De las tres especies de sardina crinuda en el área, *O. libertate* es la más abundante (Berry & Barrett, 1963).

Sobre la base del análisis de los contenidos gástricos en adultos de *O. libertate* en diferentes áreas (Peterson, 1956; Romero-Ibarra & Esquivel-Herrera, 1989), se ha reportado que el fitoplancton constituye hasta el 60% en los contenidos

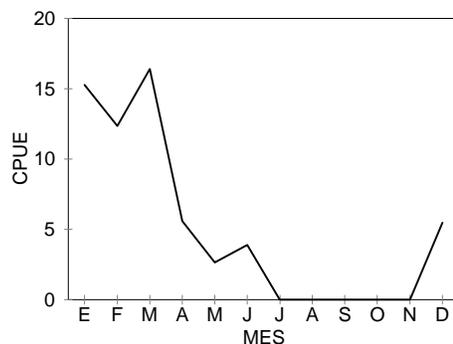


Figura 8. Captura por unidad de esfuerzo de *Opisthonema* spp. Año promedio del periodo 1931-1979.

estomacales de esta especie. Gallardo-Cabello *et al.* (1991) reportan que aunque las diatomeas representan el mayor aporte en número de individuos y de especies en la dieta de *O. libertate*, son las que menos cantidad de carbono contribuyen al régimen alimentario de la sardina crinuda en relación a los huevecillos de peces y a los crustáceos.

No obstante esta conclusión generalizada respecto a la alimentación de adultos, Gallardo-Cabello *et al.* (1991) presentan la relación entre las tallas de la sardina crinuda y los porcentajes promedio de aportes de carbono de las presas a la dieta de acuerdo con su tamaño. Se observa que conforme aumenta la longitud de la sardina crinuda aumenta el tamaño de sus presas. Las diatomeas y los dinoflagelados son más abundantes y principales contribuyentes del carbono a la dieta de la sardina de talla menor (140-149 mm de longitud patrón). Los huevecillos de peces contribuyen en mayor proporción al carbono de la dieta de la sardina de tallas 150-159 mm. A tallas mayores la importancia de los huevecillos es reemplazada gradualmente, por los copépodos, los anfípodos, los ostrácodos y los eufásidos.

El aumento del tamaño de las presas conforme incrementa la longitud de la sardina concuerda con el cambio de selectividad alimenticia observado en el aparato filtrador de la sardina durante su crecimiento (Rodríguez-Sánchez, 1989).

Considerando la importancia del fitoplancton en la alimentación de sardina crinuda de talla menor, se puede explicar el incremento de abundancia de estos peces durante el periodo de surgencias. La consecuente sucesión ecológica de zooplancton en el área y su importancia como alimento de la sardina a tallas mayores, también ayuda a explicar la estacionalidad de la abundancia de la sardina.

El Golfo de Tehuantepec es también una región donde las capturas de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) han sido tradicionalmente importantes (Allen & Punsly, 1984; Ortega-García, 1998) y se ha reconocido al norte de ésta

zona como la principal área de desove en aguas del Pacífico mexicano durante los meses de invierno (González & Ramírez, 1989). No obstante que Ortega-García & Lluch-Cota (1996) en un análisis para el periodo 1984-1985 mencionan un retraso de 3 a 5 meses entre las mayores concentraciones de pigmentos fotosintéticos y la abundancia relativa del atún aleta amarilla, para el periodo 1993-1997 la mayor intensidad de lances en el área se observa de enero a marzo, coincidiendo con las capturas totales más altas, con un promedio de 4,296 toneladas (Fig. 9). Durante los meses de verano, el esfuerzo disminuye drásticamente debido principalmente a la presencia de huracanes y tormentas tropicales que impiden el desarrollo de las operaciones de pesca en ésta época del año.

Otro recurso importante en el golfo es el camarón. Los estados de Oaxaca y Chiapas en conjunto ocupan el 4º lugar en cuanto a la producción de este recurso a nivel nacional, la cual se sostiene principalmente por cinco especies (*Penaeus vanamei* (camarón blanco), *P. stylirostris* (camarón azul), *P. californiensis* (camarón café) y *P. brevirostris* (camarón rojo). Otras pesquerías de importancia son la de la mojarra, lisa y tiburón y en menor escala se captura huachinango, robalo, barrilete y pargo, entre otras (Tapia-García & Gutiérrez-Díaz, 1998).

El Golfo de Tehuantepec como Centro de Actividad Biológica

La Tabla 1 muestra como los niveles de concentración pigmentaria en el Golfo de Tehuantepec son en promedio menores que los de otros Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano. Adicionalmente, se reconoce que su estacionalidad es mucho más marcada y que los niveles correspondientes a la época pobre son mucho menores. Sin embargo, el golfo representa, junto con el Golfo de Papagallo y el Domo de Costa Rica, la única fuente de enriquecimiento, por aporte de nutrientes a la superficie, en toda la región del Pacífico Costero Centroamericano (PCAC). En este sentido, representa un sistema clave respecto del control de la producción de todo el gran ecosistema marino y sus características ecológicas.

Necesidades de investigación

El PCAC se encuentra ubicado entre dos de las regiones de surgencia más importantes del mundo, los sistemas de las Corrientes de California y de Humbolt. Debido a su importancia como proveedores de grandes volúmenes de captura de recursos masivos, estos sistemas han sido ampliamente estudiados, en especial la región de la Corriente de California donde el desarrollo de ambiciosos programas de investigación (por ejemplo CalCOFI) ha permitido que se genere, para ésta zona, la base de datos más completa y de mayor cobertura espacial y temporal del océano mundial.

En contraste, el PCAC es reconocido como una región poco estudiada, gobernada por procesos y características diferentes a aquellos de zonas de surgencia de los bordes de los grandes giros oceánicos, y que alberga una fauna completamente diferente (Bakun *et al.*, 1999). Adicionalmente, representa una

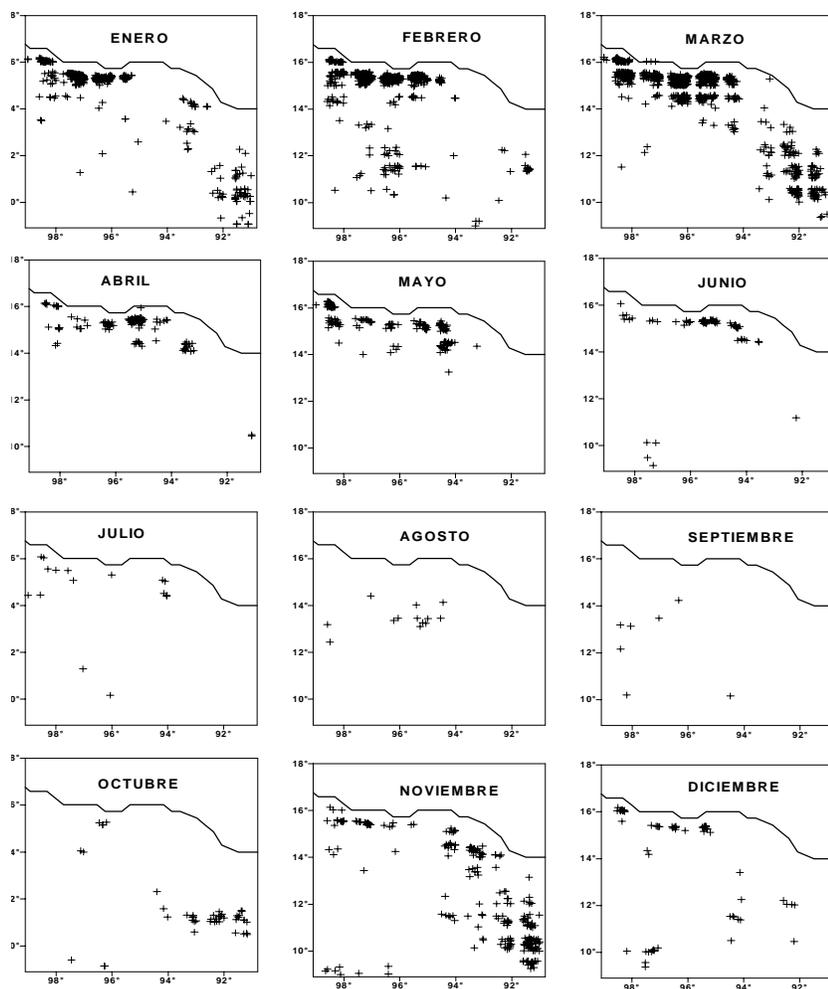


Figura 9. Distribución mensual de los lances de pesca realizados por la flota atunera mexicana en el Golfo de Tehuantepec durante 1993-1997.

Tabla 1. Comportamiento promedio de la concentración pigmentaria (mg Cl/m³) en los Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano, estimados a partir de valores mensuales por cuadrantes de 1°x1° de datos de satélite CZCS.

| BAC | Mes promedio | Máximos anuales | Mínimos anuales |
|----------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Punta Eugenia | 0.5 | 0.8 | 0.3 |
| Bahía Magdalena | 1.0 | 1.9 | 0.5 |
| Golfo de California | 1.3 | 2.2 | 0.4 |
| Golfo de Tehuantepec | 0.3 | 0.6 | 0.1 |

Nota: Por la forma en que se calculan estos valores, deben ser considerados con fines comparativos entre sistemas, no respecto de valores medidos en campo.

de las regiones del planeta donde se generan menor número de observaciones respecto de la variabilidad ambiental y los cambios en las características ecológicas. En este sentido, se reconoce la importancia de desarrollar investigación en ésta zona, con el objetivo de caracterizar y establecer sistemas de observación del ambiente y las comunidades biológicas, incluyendo las poblaciones de los diferentes recursos pesqueros que en ella habitan.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.L. & R.G. Punsly. 1984. Catch rates as indices of abundance of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the Eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 18(4):301-379.
- Ayala-Duval, E., M. del C. Maldonado-Monroy, J.A. Becerril-Martínez, D.T. García-Tamayo, C. Juárez-Ortíz, J. Blas-Cabrera, V. Barrios-Orozco, J.A. Huerta-González & A. Almaráz-Gomez. 1998. Distribución de algunos componentes del ictioplancton y su relación con la biomasa zooplanctónica, 8:93-102. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Bakun, A., J. Csirke, D. Lluch-Belda & R. Steer-Ruíz. 1999. The Pacific Central American Coastal LME, 268-280. En: Sherman, K. & T. Qisheng (Eds.). Large Marine Ecosystems of The Pacific Rim: Assessment, Sustainability, and Management.
- Baldwin, W.J. 1977. A review on the use of live baitfishes to capture Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Tropical Pacific Ocean with emphasis on their behavior, survival, and availability, 8-35. En: Shomura, R.S. (Ed.) Collection of tuna baitfish papers. NOAA Technical Report NMFS. Circular No. 408.
- Blackburn, M. 1962. An Oceanography Study of the Gulf of Tehuantepec. U.S. Fish Wild. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish 404, 28 p.
- Barton, E.D., M.L. Argote, J. Brown, P.M. Kosro, M. Lavin, J.M. Robles, R.L. Smith, A. Trasviña & H.S. Velez. 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Oceanography, 6, 23-30.
- Berry, F. H. & I. Barrett. 1963. Análisis de las branquiespinas y denominación de las especies del arenque de hebra género *Opisthonema*. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 7 (2):1-153.
- Carranza-Edwards A., E. Morales de la Garza, & L. Rosales-Hoz. 1998. Tectónica, sedimentología y geoquímica, 1:1-12. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Clarke, A. J. 1988. Inertial wind path and sea surface temperature patterns near

- the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo, Journal of Geophysical Research, 93, C12, 15491-15501.
- Di-Mego, G.J., L.F. Bosart & G.W. Endersen. 1976. An examination of the frequency and mean conditions surrounding frontal incursions into the Gulf of Mexico and Caribbean Sea. Mon. Weather Rev., 104:709-717.
- Donguy, J.R. & G. Meyers. 1987. Observed and modeled topography of the 20°C isotherm in the Tropical Pacific. Oceanologica Acta, 10, 41-48.
- Enfield, D.B. & J.S. Allen. 1983. The generation and propagation of sea level variability along the Pacific coast of Mexico, Journal of Physical Oceanography, 10, 557-578.
- Farber-Lorda, J., M.F. Lavín, M.A. Zapatero & J.M. Robles. 1994. Distribution and abundance of Euphasiids in the Gulf of Tehuantepec during wind forcing. Deep-Sea Research I, 41, 2:359-367.
- Fiedler, P.C. 1994. Seasonal and Interannual variability of coastal zone color scanner phytoplankton pigments and winds in the eastern tropical Pacific. Journal Geophys. Res., 99:18, 371-384.
- Gallardo-Cabello, M., M. Jacob-Cervantes & X. Chiappa-Carrara. 1991. Análisis de los hábitos alimentarios y el aporte de carbono de las presas a la dieta de la sardina crinuda, *Opisthonema libertate*, Gunther 1866 (Pisces: Clupeidae) en el Golfo de California. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, 18 (1): 37-48.
- Gallegos-García, A. & J. Barberán-Falcón, 1998. Surgencia eólica, 3:27-34. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- González, P.G. & M. Ramírez. 1989. Zonas y épocas de reproducción del atún aleta amarilla *Thunnus albacares* en el Pacífico mexicano, Investigaciones Marinas CICIMAR, 4(2):201-209.
- Howard, G.V. 1952. Tuna Commission studies the bait fishes. Pan-American Fisherman, 7(5): 9, 22.
- Kessler, W.S. 1990. Observations of long Rossby waves in the Northern Tropical Pacific. Journal of Geophysical Research. 95:5183-5217.
- Lavín, M.F., J.M. Robles, M.L. Argote, E.D. Barton, R.L. Smith, J. Brown, M. Kosro, A. Trasviña, H.S. Vélez & J. García. 1992. Física del Golfo de Tehuantepec, Ciencia y Desarrollo, XVIII, 97-107.
- Legeckis, R. 1988. Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific During March 1985. Journal of Geophysical Research, 93, C12, 15485-15489.
- Lluch-Cota, S.E. 1995. Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos en el Golfo de Tehuantepec derivados de datos de satélite (CZCS). Tesis de Maestría CICIMAR. 47p.

- Lluch-Cota, S.E., S. Alvarez-Borrego, E.M. Santamaría-del-Angel, F.E. Mueller-Karger & S. Hernández-Vásquez. 1997. El Golfo de Tehuantepec y áreas adyacentes: Variación espacio-temporal de pigmentos fotosintéticos derivados de satélite. Ciencias Marinas, 23(3): 329-340.
- Maxwell, W.D. 1974. A history of California live-bait fishing industry. Marine Resources Technical Report No. 27, California Fish and Game, 24 p.
- Molina-Cruz, A. & M. Martínez-Lopez. 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by Radiolaria remains. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 110: 179-195.
- Monreal-Gómez, M.A. & D.A. Salas-de-León. 1998. Dinámica y estructura termohalina, 2:13-26. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- McCreary, J.P., H.S. Lee & D. B. Enfield. 1989. The response of the coastal to strong offshore winds: with application to circulation in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. Journal of Marine Research, 47:81-109.
- Ortega-García, S. & S. Lluch-Cota. 1996. Distribución de la abundancia relativa de atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y su relación con la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por satélite en aguas al sur de México. Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía, Número Especial 4:85-93p.
- Ortega-García, S. 1998. Análisis espacio-temporal de la abundancia de atún en el océano Pacífico Oriental. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- Peterson, C.L. 1956. Observations on the taxonomy, biology, and ecology of the engraulid and clupeid fishes of the Gulf of Nicoya, Costa Rica. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., 1(5): 139-211.
- Ritter-Ortíz, W. & S. Guzmán-Ruíz. 1984. Modelo generalizado de producción pesquera con dependencia ambiental. Una aplicación al Golfo de Tehuantepec. Revista Geofísica, 20: 21-29.
- Robles-Jarero, E.G. & J.R. Lara-Lara, 1993. Phytoplankton productivity in the Gulf of Tehuantepec. J. Plank. Res. 15:1341-1358.
- Roden, G.I. 1961. Sobre la circulación producida por el viento en el Golfo de Tehuantepec y sus efectos sobre las temperaturas superficiales. Geofísica Internacional 1:55-76.
- Rodríguez-Sánchez, R. 1989. Taxonomía de las especies del género *Opisthonema* (sardina crinuda) en el noroeste de México. Tesis de Maestría. CICIMAR-I.P.N., La Paz, B.C.S., México. 101 pp.
- Romero-Ibarra, N. & A. Esquivel-Herrera. 1989. Análisis del contenido gástrico de adultos de *Opisthonema libertate* y su comparación con el plancton circundante. Invest. Mar. CICIMAR, 4(2): 267-279.

- Strong, A.E., R.J. de Rycke & H.G. Stumpf. 1972. Satellite detection of upwelling and cold waters eddies . Proc. 8th Int. Symp. Rem. Sens. Envir., Environmental Research Institute of Michigan Ann Arbor, 1097-1081.
- Stumpf, H.G. 1975. Satellite detection of upwelling in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. Journal of Physical Oceanography, 5, 383-388.
- Stumpf, H.G. & R.V. Legeckis. 1977. Satellite observations of mesoscale eddy dynamics in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Journal of Physical Oceanography, 7, 648-658.
- Tapia-García, M. & B. Gutiérrez-Díaz. 1998. Recursos pesqueros de los estados de Oaxaca y Chiapas, 11: 149-162. En: Tapia-García, M. (Ed.). El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos, 240 p. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México, 1998. ISBN 970-654-348-1.
- Trasviña, A., E.D. Barton, J. Brown, H.S. Vélez, P.M. Kosro & R.L. Smith. 1995. Offshore wind forcing in the Gulf of Tehuantepec , Mexico: the asymmetric circulation. Journal of Geophysical Research, 100, 20, 649-20, 663.
- Trasviña, A. & E.D. Barton. 1997. Los “Nortes” del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento. Contribuciones a la Oceanografía Física en México. Monografía 3, Unión Geofísica Mexicana, 1997.
- Vázquez-Gutiérrez & Alexander-Valdés. 1993. La química marina de las costas nacionales de México. Geo-Univ. Nal. Autón. Méx., 2:34-41.
- Wood, R. & A.R. Strachan. 1970. A description of the northern anchovy live bait fishery, and the age and length composition of the catch during the seasons 1957-58 through 1964-65. California Fish and Game, 56(1): 49-59.
- Wyrki, K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Pacific Ocean. International Journal of Oceanology and Limnology. 1:117-147.